Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 2, Summer 2022, p. 291-307

Evaluation of Yield and Resource Use Efficiency in Triple Intercropping of Cucumber (*Cucumis sativus*), Green Bean (*Phaseolus vulgaris*), and Tomato *(Solanum lycopersicum)*

A. Koocheki[1*], G.A. Asadi[2], and M. Bagheri[3]

Received: 03-06-2018
Revised: 15-06-2019
Accepted: 17-07-2019
Available Online: 14-09-2022

How to cite this article:
Koocheki, A., Asadi, G.A., and Bagheri, M., 2022. Evaluation of yield and resource use efficiency in triple intercropping of cucumber (*Cucumis sativus*), green bean (*Phaseolus vulgaris*), and tomato *(Solanum lycopersicum)*. Journal of Agroecology 14(2):291-307.
DOI: 10.22067/jag.v1i1.73255

Introduction

Tomato and cucumber are now produced by using a high amount of chemical nitrogen fertilizer and a variety of biocides. These are hazardous to human health and the surrounding environment. Intercropping these plants with a legume such as green bean not only improves nitrogen use but also helps to enhance environmental conditions. Based on these assumptions, the present investigation was carried out to determine the effect of intercropping bean with tomato and cucumber on yield and yield components, land equivalent ratio, and nutrient use efficiency in a triple intercropping system.

Materials and Methods

This experiment was conducted between 2015 and 2016 on a private farm adjacent to Shirvan in the Northern part of Khorasan Province. The experimental layout was based on a randomized complete block design with six treatments and three replications. Treatments were a different combination of single, double, and triple rows of cucumber, tomato, and green bean together with the pure culture of each one. Criteria measured were dry matter, yield accumulation, fruit weight, economical and biological yield, harvest index, land equivalent ratio, and also nitrogen, phosphorus, and potassium use efficiency.

Results and discussion

As expected, dry matter yield accumulation in sole cucumber was higher than in other combinations, and a decreasing trend was observed when the ratio of cucumber was increased in intercropped. However, this was the reverse for tomato. Dry matter yield accumulation for green bean was higher in a single row intercropping than in others. Higher dry matter accumulation in intercropped seems to be associated with better resource use and lower interspecific competition and hence photosynthesis improvement. For cucumber, economic and biological yield in the pure stand was higher than the intercropped, while the harvest index was the highest in double rows intercropped. The economic and biological yield of green bean and tomato in pure culture was higher than in other treatments. In contrast, 1-row intercropping increased the green bean fruit in a plant by 18.42% and the tomato fruit weight in a plant by 62.38% compared to pure stand. Better light interception and efficient resource use seem to be the reason for better performance of intercropped compared with monoculture. However, nutrients use efficiency did not show a similar trend when nitrogen, phosphorus, and potassium use efficiency in single row planting was higher for bean and tomato; this was not a common trend in general. Single row intercropped showed a 27% increase in yield on the base of land equivalent ratio.

Keywords: Land equivalent ration, Resource use efficiency, Intercropping

1, 2 and 3- Professor, Associate Professor and Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد و شاخص های کارآیی مصرف عناصر غذایی در کشت مخلوط سه‌گانه خیار (*Cucumis sativus*)، لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)

علیرضا کوچکی[1]*، قربانعلی اسدی[2] و میلاد باقری شیروان[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۶

کوچکی، ع.، اسدی، ق.، و باقری شیروان، م.، ۱۴۰۱. بررسی عملکرد و شاخص‌های کارآیی مصرف عناصر غذایی در کشت مخلوط سه‌گانه خیار (*Cucumis sativus*)، لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۲): ۳۰۷-۲۹۱.

چکیده

کشت خیار (*Cucumis sativus*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در سیستم‌های رایج کشاورزی با تأکید بر مصرف بیش از حد نهاده‌های شیمیایی انجام می‌گیرد که این امر علاوه‌بر مخاطرات زیست‌محیطی، سلامت انسان را نیز تهدید می‌نماید. این آزمایش، به‌منظور بررسی سودمندی عملکرد خیار و گوجه‌فرنگی در کشت مخلوط با لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) و مقایسه کارایی مصرف عناصر غذایی در کشت مخلوط با کشت خالص در دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری شهرستان شیروان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت مخلوط تک ردیفی، دو ردیفی و سه ردیفی خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی و کشت خالص هر یک از گیاهان بود. تغییرات ماده خشک در زمان، وزن میوه در بوته، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم هر یک از گیاهان و همچنین نسبت برابری زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تجمع ماده خشک خیار در کشت خالص بر نسبت‌های کشت مخلوط ارجحیت داشت و با افزایش سهم خیار در کشت مخلوط از تجمع ماده خشک آن در طول زمان کاسته شد. تجمع ماده خشک لوبیا سبز در کشت مخلوط تک ردیفی بیشتر از سایر تیمارهای آزمایش بود. تجمع ماده خشک گوجه‌فرنگی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص این گیاه بود. احتمالاً افزایش جذب منابع و بهبود فتوسنتز و همچنین کاهش رقابت درون گونه‌ای، دلیل برتری تجمع ماده خشک در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص باشد. وزن میوه در بوته، عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک خیار در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود، این در حالی بود که شاخص برداشت خیار در کشت مخلوط دو ردیفی بر سایر نسبت‌های کاشت ارجحیت داشت. عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز و همچنین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک گوجه‌فرنگی نیز در کشت خالص بر تیمارهای کشت مخلوط برتری داشت. این درحالی بود که کشت مخلوط تک ردیفی باعث افزایش ۱۸/۴۲ درصد وزن میوه در بوته لوبیا سبز و ۶۲/۳۸ درصد وزن میوه در بوته گوجه‌فرنگی در مقایسه با کشت خالص این گیاهان گردید. به نظر می‌رسد که دلیل برتری عملکرد میوه در بوته لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی در کشت مخلوط تک ردیفی، شرایط مناسب گونه‌ها در کنار هم و تشکیل کانوپی موجی شکل و نفوذ بیشتر نور و در نتیجه، استفاده کارآمدتر از منابع باشد. کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم خیار در کشت خالص این گیاه بیشتر از سایر تیمارهای آزمایش بود، در حالی که کارایی مصرف عناصر غذایی لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی در کشت مخلوط تک ردیفی بر سایر تیمارهای آزمایش ارجحیت داشت. احتمالاً در کشت مخلوط تک ردیفی، قابلیت استفاده یا جذب عناصر در نتیجه رقابت بین گونه‌ای افزایش یافته است. نسبت برابری زمین بیانگر این بود که کشت مخلوط تک ردیفی حدود ۲۷ درصد عملکرد کل را نسبت به تک‌کشتی افزایش داد. با توجه به نتایج، نسبت برابری زمین در کشت مخلوط تک ردیفی بالاتر از یک بود، از سوی دیگر، نتایج حاصل از بررسی کارایی مصرف عناصر غذایی مؤید این است که در کشت مخلوط تک ردیفی این گیاهان در مقایسه با کشت خالص، عناصر غذایی به‌صورت کارآمدتری را مورد استفاده قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تک‌کشتی، ماده خشک، نسبت برابری زمین

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استاد، دانشیار و دانشجوی دکتری گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- ایمیل نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v1i1.73255

مقدمه

کشت مخلوط به‌عنوان یکی از راهکارهای کشاورزی سنتی در ارتقای تعادل اکولوژیکی به‌شمار می‌رود (Daneshnia et al., 2015) که از طریق بهبود استفاده از فاکتور های محدودکننده رشد (Szumigalski & Van Acker, 2006) و به‌دلیل برخورداری از پتانسیل کاهش آفات و بیماری‌ها (Thuennissen, 1997; Pitan & Esan, 2014)، افزایش کارایی و تولید را در سیستم به‌دنبال دارد (Yildirim & Guvenc, 2005). یکی از مزایای کشت مخلوط که از دلایل برتری آن در مقایسه با کشت خالص بیان می‌گردد، بهبود جذب و استفاده از منابع است (Li et al., 2001). کارآمدی کشت مخلوط در استفاده از منابع، این سیستم‌ها را به‌عنوان سیستم‌های سازگار با نظام‌های کم نهاده تبدیل نموده است (Latati et al., 2017).

در میان ترکیبات مختلف کشت مخلوط، یکی از معمول‌ترین مخلوط‌ها، ترکیب حبوبات و غیر حبوبات است. این گیاهان با توجه به مکانیسم‌های خاص خود می‌توانند جذب نیتروژن سایر گیاهان را افزایش داده و از تلفات نیتروژن خاک جلوگیری نمایند (Zhang et al., 2012). از این رو، در شرایطی که استفاده از عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن با محدودیت همراه است، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، منبع اصلی نیتروژن در سیستم‌های مخلوط حبوبات با سایر گیاهان به شمار می‌رود (Chapagain & Riseman, 2014; Fujita et al., 1992). در مطالعه کشت مخلوط دو گیاه یولاف (*Avena sativa* L.) و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.)، افزایش کارایی مصرف نیتروژن هر یک از گیاهان نسبت به کشت خالص آن‌ها گزارش شده است (Neugschwandtner & Kaul, 2015). در کنار این خصوصیات، انتخاب گیاهان با ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی متفاوت باعث تنظیم رقابت برای منابع بین اجزای کشت مخلوط می‌گردد (Morgado & Willey, 2003). در این شرایط، هر یک از گیاهان با توجه به ویژگی‌های خود از منابع مختلف به صورت کارآمدتری بهره می‌برند (Alizadeh et al., 2010a; Koocheki et al., 2015). به‌طور کلی، استفاده مکانی و زمانی متفاوت از منابع محیطی به‌واسطه انتخاب گیاهان با ساختار کانوپی و سیستم ریشه‌ای متفاوت، استفاده کارآمدتر از منابع را به‌دنبال خواهد داشت (Tsubo et al., 2005) و در نتیجه، افزایش عملکرد و سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص حاصل می‌گردد (Kermah et al., 2017). در کشت مخلوط سویا (*Glycine max* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط کم نهاده، برتری کشت مخلوط در استفاده بهینه از نیتروژن و در نتیجه آن برتری عملکرد در مقایسه با کشت خالص این گیاهان گزارش شده است (Chen et al., 2017). در کشت مخلوط نخود (*Cicer arientinum* L.) و ذرت نیز برتری کشت مخلوط در بهبود حاصلخیزی خاک و عملکرد هر یک از گونه در مقایسه با کشت خالص گزارش شده است (Wang et al., 2014).

کشاورزی رایج به‌واسطه نگرش یک سویه بر تولید بیشتر با تمرکز بر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، پیامدهای منفی فراوانی به‌دنبال داشته است، از این رو تمرکز بر راهکارهای سازگار با طبیعت، مانند کشت مخلوط اهمیت بسزایی پیدا کرده است. امروزه کاشت گیاهان جالیزی مانند خیار (*Cucumis sativus*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) با هدف تولید بیشتر در سیستم‌های رایج کشاورزی با تکیه بر مصرف بیش از حد نهاده‌های شیمیایی انجام می‌گیرد که علاوه‌بر مخاطرات زیست‌محیطی، سلامت انسان را نیز تهدید می‌نماید. کشت مخلوط این گیاهان در کنار حبوباتی مانند لوبیا از دیرباز در سیستم‌های سنتی کشاورزی مرسوم بوده و به‌واسطه حضور گونه‌های متفاوت به‌لحاظ ساختار کانوپی و سیستم ریشه‌ای، احتمالاً از کارآمدی بالایی نیز برخوردار باشد. به همین منظور، این آزمایش با هدف مقایسه شاخص‌های کارایی مصرف عناصر غذایی و همچنین بررسی سودمندی عملکرد خیار و گوجه‌فرنگی در حضور لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) در سیستم مخلوط اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۷۵ متر بالاتر از سطح دریا) در سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا گردید. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو سال آزمایش
Table 1- Some of the soil physical and chemical properties

سال Year	بافت Texture	پتاسیم قابل جذب Available K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی Organic material (%)	هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)	واکنش خاک pH
۹۴-۱۳۹۳ 2014-15	لومی رسی Clay loam	290	26.3	0.14	1.45	2.25	7.8
۹۵-۱۳۹۴ 2015-16	لومی رسی Clay loam	298	25.9	0.136	1.38	2.2	7.8

محل اجرای آزمایش در سال‌های قبل تحت کشت یونجه و با مدیریت یکسان قرار داشته و هیچ تیمار آزمایشی در آن اجرا نشده است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و شش تیمار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش در هر دو سال یکسان و شامل کشت خالص خیار (*Cucumis sativus*) (C)، لوبیا سبز (B) (*Phaseolus vulgaris*) و گوجه‌فرنگی (T) (*Solanum lycopersicum*) و همچنین کشت مخلوط تک ردیفی (TBCBTBCBT)، دو ردیفی (TTBBCCBBT) و سه ردیفی (TTTBBBCCC) هر یک از گیاهان بود. در تمامی تیمارهای مخلوط، گیاه لوبیا سبز در بین دو گیاه دیگر قرار داده شد. کرت‌های آزمایش در تیمارهای مخلوط شامل نه ردیف کاشت و برای تیمارهای خالص شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر تعیین گردید. به‌منظور جلوگیری از اثرات تیمارها بر یکدیگر، فاصله بین هر کرت، یک متر و فاصله بین هر بلوک، دو متر در نظر گرفته شد. در هر دو سال اجرای آزمایش، در تاریخ بیستم خرداد ماه، بذر هر یک از گیاهان با دست و به‌صورت کپه‌ای کشت گردید و قبل از رسیدن گیاهان به مرحله چهار تا شش برگی، به‌منظور رسیدن به فاصله روی ردیف، ۵۰ سانتی‌متر برای خیار، ۲۰ سانتی‌متر برای گوجه‌فرنگی و ۱۰ سانتی‌متر برای لوبیا سبز، تنک انجام گرفت. خیار رقم سوپر دومینوس امریکا، گوجه‌فرنگی رقم موبیل مجارستان، از ارقام رایج مورد استفاده توسط کشاورزان منطقه و لوبیا سبز رقم کانتندر اسپانیا کشت گردید. آبیاری پس از کاشت و بر اساس نیاز گیاهان و با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای انجام گرفت. در طول فصل رشد از هیچ نوع کودی استفاده نگردید. کنترل علف‌های هرز نیز در صورت لزوم و به‌صورت دستی انجام گرفت.

به‌منظور بررسی تغییرات ماده خشک در زمان، از ۲۵ روز پس از کاشت به فاصله هر ۱۵ روز و در مجموع، شش مرحله از کرت‌های آزمایشی نمونه‌برداری شد. در هر مرحله از نمونه‌برداری در تیمارهای کشت مخلوط، گیاهان واقع در ۵۰ سانتی‌متر طول از ردیف‌های میانی (مساحتی معادل ۱/۷۵ مترمربع) و در تیمارهای کشت خالص، گیاهان واقع در ۵۰ سانتی‌متر طول از چهار ردیف میانی (مساحتی معادل یک مترمربع) برداشت گردید. نمونه‌های مربوط به هر کرت به‌صورت مجزا به‌منظور تعیین وزن خشک به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. برای ارزیابی تغییرات ماده خشک در زمان، معادله سیگموئیدی (معادله ۱) بهترین برازش را با داده‌های حاصل از تغییرات ماده خشک گیاهان در طول زمان داشت (Koocheki et al., 2009a).

$$TDM = a/[1+\exp(-b(x-x_0))] \quad (۱)$$

در این معادله، TDM: تجمع ماده خشک در زمان، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: شیب افزایش ماده خشک و x_0: زمان بیشترین افزایش ماده خشک است.

برداشت خیار پس از ظهور میوه‌ها روی بوته، در اوایل مرداد ماه آغاز و تا پایان فصل رشد ادامه یافت. برداشت میوه‌ها به‌منظور جلوگیری از رشد بیش از حد میوه‌ها و حفظ بازارپسندی آن، به‌صورت روز در میان انجام شد. میوه‌های برداشت شده در هر برداشت، توزین و مجموع برداشت‌های مکرر به‌عنوان عملکرد نهایی خیار ثبت گردید. در مورد بوته‌های گوجه‌فرنگی نیز برداشت در زمان رسیدگی میوه‌ها در هر کرت انجام و پس از توزین ثبت گردید و در نهایت، عملکرد نهایی هر کرت حاصل مجموع برداشت‌های انجام شده در نظر گرفته شد. در مورد لوبیا سبز نیز در طول فصل رشد، نیام‌های آماده برداشت و مناسب از نظر بازارپسندی در هر کرت برداشت و توزین گردید و مجموع برداشت‌های انجام شده در طول فصل رشد به‌عنوان عملکرد نهایی هر کرت منظور گردید.

به‌منظور محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم، در ابتدای آزمایش میزان عناصر قابل استفاده گیاهان در خاک تعیین گردید. برای این منظور، عمق خاک حاصلخیز برای گیاهان، ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و با توجه به در صد هر یک از عناصر در خاک و همچنین وزن مخصوص ظاهری خاک، میزان عناصر قابل استفاده گیاهان در خاک در هر تیمار محاسبه گردید. سپس کارایی مصرف نیتروژن از نسبت عملکرد گیاه (کیلوگرم) به‌میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل استفاده موجود در خاک (کیلوگرم بر هکتار) محاسبه شد (Koocheki et al., 2015).

به‌منظور بررسی سودمندی اجزای کشت مخلوط در تیمارهای مخلوط نسبت به تک‌کشتی، از شاخص نسبت برابری زمین (LER) استفاده شد. این شاخص با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید:

معادله (۲)

$$LER = (Y_{Ci} \div Yc) + (Y_{Bi} \div Y_B) + (Y_{Ti} \div Y_T)$$

در این معادله، Y_{Ci}، Y_{Bi} و Y_{Ti}: به‌ترتیب عملکرد خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی در کشت مخلوط و Y_C، Y_B و Y_T: به‌ترتیب عملکرد خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی در کشت خالص می‌باشد. در این معادله، در صورتی که نسبت برابری زمین بزرگ‌تر از یک باشد، کشت مخلوط این گیاهان در کنار یکدیگر باعث افزایش رشد و عملکرد اجزای مخلوط شده است، و امّا اگر این نسبت کمتر از یک باشد، کشت مخلوط این گیاهان در کنار هم، باعث کاهش رشد و عملکرد اجزای مخلوط شده است (Mead & Willey, 1980).

تجزیه و تحلیل داده‌های حا صل از آزمایش به‌روش تجزیه مرکب انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای این منظور از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.2) استفاده گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

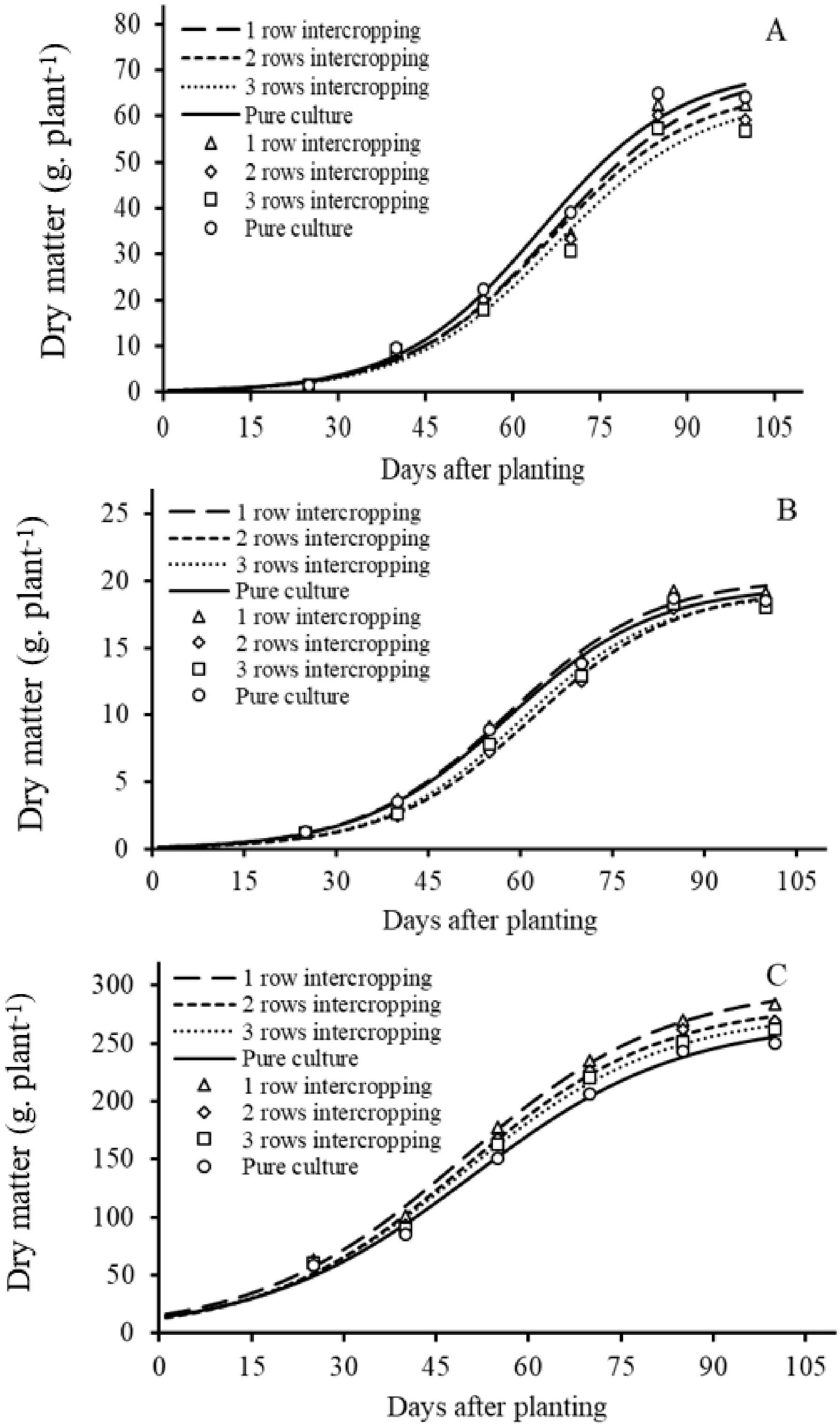
تغییرات ماده خشک

روند تغییرات ماده خشک در هر یک از گیاهان در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و کشت خالص با تبعیت از یک روند سیگموئیدی از حدود ۴۰ روز پس از کاشت سیر صعودی پیدا کرد و در حدود ۸۵ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید، پس از آن روند کاهشی را در پیش گرفت (شکل ۱). تجمع ماده خشک در خیار در کشت خالص بیشتر از نسبت‌های کشت مخلوط بود و با افزایش سهم خیار در کشت مخلوط از تجمع ماده خشک خیار در طول زمان کاسته شد (شکل ۱- الف). در کشت مخلوط گندم و ذرت نیز کاهش تجمع ماده خشک در مقایسه با کشت خالص هر یک از گیاهان گزارش شده است (Nassiri Mahallati et al., 2011). در کشت مخلوط ریحان و لوبیا نیز بیشترین ماده خشک ریحان در کشت خالص این گیاه گزارش شده است (Alizadeh et al., 2010b). در کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) با اسفناج (*Spinacia oleracea*)، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*)، یولاف علوفه‌ای (*Avena sativa*)، کلزا (*Brassica napus*) و کتان (*Linum usitatissimum*) نیز گزارش شده است که بیشترین تجمع ماده خشک در طول فصل رشد مربوط به کشت خالص گندم بود (Madhulika et al., 2015). برتری تجمع ماده خشک در کشت خالص بر کشت مخلوط در کشت مخلوط ذرت و سویا نیز گزارش شده است (Liu et al., 2017).

تجمع ماده خشک لوبیا در کشت مخلوط تک ردیفی این گیاه با گوجه‌فرنگی و خیار بر سایر نسبت‌های کشت مخلوط و همچنین کشت خالص ارجحیت داشت (شکل ۱- ب). در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا نیز گزارش شده است که تجمع ماده خشک هر یک از گیاهان در تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص آن‌ها بود (Koocheki et al., 2009b). در مطالعه کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum* L.) و شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) نیز گزارش شده است که در کشت مخلوط به‌دلیل افزایش جذب منابع و بهبود فتوسنتز، به‌واسطه کاهش رقابت درون گونه‌ای، تجمع ماده خشک کنجد و شاهدانه بیشتر از کشت خالص هر یک از گیاهان بود (Koocheki et al., 2010). علاوه‌براین، در کشت خالص لوبیا سبز افت ماده خشک در مرحله پایانی بیشتر از نسبت‌های تک ردیفی و دو ردیفی کشت مخلوط به نظر می‌رسد (شکل ۱- ب).

کشت مخلوط تأثیر بیشتری بر تجمع ماده خشک در گوجه‌فرنگی در مقایسه با دو گونه دیگر داشت، به‌طوری‌که تجمع ماده خشک این گیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص این گیاه بود (شکل ۱- پ). احتمالاً کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص بهبود جذب نور توسط گوجه‌فرنگی و در نتیجه، افزایش تجمع ماده خشک را به همراه داشته است. در بررسی کشت مخلوط شاهدانه و کنجد نیز تجمع ماده خشک شاهدانه در کشت مخلوط ۵۰ در صد کنجد به همراه ۵۰ درصد شاهدانه در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت

مخلوط و همچنین ک شت خالص این گیاه بی شتر گزارش شده ا ست (Koocheki et al., 2010).



شکل ۱- میانگین تغییرات تجمع ماده خشک خیار (الف)، لوبیا سبز (ب) و گوجه‌فرنگی (پ) در نسبت‌های مختلف کاشت در دو سال

Fig. 1- The average of dry matter accumulation of cucumber (A), bean (B) and tomato (C) in cropping ratios in two years

در کشت مخلوط گندم زمستانه و ذرت نیز افزایش تجمع ماده خشک در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص گزارش شده است (Gao et al., 2009). با توجه به این که نیتروژن بر میزان فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در پی آن افزایش تجمع ماده خشک مؤثر است، احتمالاً افزایش تجمع ماده خشک گوجه‌فرنگی در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص با افزایش نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن تو سط لوبیا سبز و یا کارآمدی بهتر کشت مخلوط در فراهمی نیتروژن مرتبط باشد (Koocheki et al., 2009a). با این حال، در گوجه‌فرنگی نیز همانند لوبیا سبز با افزایش تعداد ردیف‌های این گیاه در کشت مخلوط از میزان تجمع ماده خشک این گیاه در طول زمان کاسته شد (شکل ۱- پ)، احتمالاً در کشت مخلوط تک ردیفی در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش، رقابت بین گونه‌ای کمتر بود و گوجه‌فرنگی و همچنین لوبیا سبز از شرایط بهتری در جذب نور و استفاده از سایر منابع برخوردار بودند. در مطالعه بررسی کشت مخلوط شنبلیله و زنیان نیز گزارش شده است که کشت مخلوط تک ردیفی به‌دلیل کاهش رقابت درون گونه‌ای، جذب نور و مواد غذایی بالاترین ماده خشک شنبلیله را به خود اختصاص داد (Mirhashemi et al., 2009).

عملکرد

در بین صفات مرتبط با عملکرد خیار، وزن میوه در بوته و شاخص برداشت خیار تحت تأثیر معنی‌دار اثر سال قرار گرفتند. این در حالی بود که نسبت‌های کاشت بر وزن میوه در بوته، عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک خیار تأثیر معنی‌دار داشت. اثر متقابل سال و نسبت‌های کاشت نیز بر عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک خیار معنی‌دار بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، با اینکه تفاوت معنی‌داری بین دو سال آزمایش در رابطه با عملکرد بیولوژیک خیار مشاهده نشد، امّا وزن میوه در بوته، عملکرد اقتصادی و بیولوژیک و شاخص برداشت خیار در سال اول آزمایش بیشتر از سال دوم بود (جدول ۳). بوته‌های خیار در سال دوم آزمایش به‌دلیل بروز سفیدک داخلی در مقایسه با بوته‌های خیار در سال اول آزمایش از رشد و تولید کمتری برخوردار بودند. سفیدک داخلی یکی از بیماری‌های شایع کدوئیان به‌ویژه خیار است که به‌دلیل قدرت بالای بیماری‌زایی با توجه به سن گیاه در زمان آلودگی، شرایط آب و هوایی و حساسیت گیاه میزبان، میزان خسارت‌زایی آن بین صفر تا صد درصد متغیر است (Ranjbar et al., 2008).

در بررسی تأثیر نسبت‌های کاشت بر صفات مرتبط با عملکرد خیار مشاهده شد که بیشترین وزن میوه خیار در هر بوته (۹۴۶/۱۲ گرم در بوته) مربوط به کشت خالص این گیاه و کمترین وزن میوه خیار در هر بوته (۷۱۳/۰۷ گرم در بوته) مربوط به ترکیب سه ردیفی این گیاه با لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی بود. به‌طور کلی، تولید میوه خیار در هر بوته در کشت مخلوط تک ردیفی، دو ردیفی و سه ردیفی در مقایسه با کشت خالص خیار به‌ترتیب ۲۲/۸۷، ۱۲/۶۹ و ۲۴/۶۳ درصد کاهش یافت (جدول ۳). احتمالاً دلیل این کاهش وجود رقابت بین گونه‌ای علاوه‌بر رقابت درون گونه‌ای در تیمارهای مخلوط باشد که باعث تغییر شرایط کانوپی در دریافت نور و فتوسنتز و محدود شدن فضای رشد و استفاده از منابع غذایی و در نتیجه، کاهش رشد و عملکرد شده است (Moradi et al., 2015). بر خلاف نتایج به‌دست آمده، در کشت مخلوط خیار و کرفس، برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از نظر وزن میوه خیار در بوته گزارش شده است (Zeinali et al., 2010). در کشت مخلوط خیار و بامیه نیز گزارش شده است که اختلافی از نظر وزن میوه خیار در هر بوته مشاهده نشد، با این حال در این گزارش آمده است که بیشترین وزن میوه خیار در هر بوته مربوط به کشت مخلوط خیار با یک ردیف بامیه گزارش شده است (Ofosu-Anim & Limbani, 2007).

بیشترین عملکرد اقتصادی و بیولوژیک خیار نیز از کشت خالص این گیاه به‌دست آمد و با کاهش حضور خیار در کشت مخلوط از میزان عملکرد اقتصادی و بیولوژیک آن کاسته شد، به‌طوری‌که کمترین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک این گیاه از کشت مخلوط تک ردیفی خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی به‌دست آمد، هر چند عملکرد اقتصادی و بیولوژیک خیار در تیمارهای کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). در بررسی کشت مخلوط خیار و پیاز خوراکی نیز عملکرد خیار در کشت خالص بیشتر از عملکرد این گیاه در کشت مخلوط گزارش شده است و دلیل این برتری عدم وجود رقابت بین گونه‌ای و در نتیجه آن افزایش در تعداد گل ماده و افزایش تعداد میوه در بوته بیان شده است (Bolandnazar et al., 2011).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن میوه در بوته، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی در نسبت‌های مختلف کشت در دو سال

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for fruit weight in plant, economical and biological yield and harvest index of cucumber, green bean and tomato in cropping ratios in two years

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن میوه در بوته Fruit weight in plant			عملکرد اقتصادی Economical yield			عملکرد بیولوژیک Biological yield			شاخص برداشت Harvest index		
		خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato
سال Year (Y)	1	803568*	2.7648n.s.	13070n.s.	307292357n.s.	572474n.s.	63454889n.s.	356299066n.s.	5143805n.s.	31427899n.s.	0.014*	0.0049n.s.	0.0026n.s.
خطای سال Year error	4	18749	8.5858	4543.4	11799550	210295	17983061	14913657	504627	29457742	0.00067	0.0007	0.0003
نسبتهای کاشت Cropping ratios (C)	3	68928*	1767.04*	298832**	1365597267*	53597350**	2277167727**	1802771610**	158785644**	8382325464**	0.00014n.s.	0.1669**	0.0054*
سال × نسبت‌های کاشت Year × C	3	5167.9n.s.	63.6261*	6107.6n.s.	79770045**	1716005**	36515128n.s.	101039020**	3673529*	38773099n.s.	0.00072n.s.	0.0036*	0.0002n.s.
خطا Error	12	11508	11.8418	8886.1	7521111	277458	21730161	9330169	644823	30508476	0.000284	0.001	0.0003
ضریب تغییرات C.V. (%)		13.35	14.94	8.43	17.93	17.82	9.22	16.81	10.75	6.61	2.02	9.73	2.87

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و n.s.: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری.

* and **: are significant at 5 and 1 probability levels, respectively, and n.s: is not significant.

جدول ۳- مقایسه میانگین وزن میوه در بوته، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی در نسبت‌های مختلف کشت در دو سال

Table 3- Mean comparisons for fruit weight in plant, economical and biological yield and harvest index of cucumber, green bean and tomato in cropping ratios in two years

فاکتورهای آزمایش Experiment factors	وزن میوه در بوته Fruit weight (g.plant^{-1})			عملکرد اقتصادی Economical yield (kg.ha^{-1})			عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})			شاخص برداشت Harvest index		
	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato
سال Year												
سال اول First year	986.74	23.37	1141.9	18874	3109.4	52181	22027	7930.1	84653	0.86	0.31	0.62
سال دوم Second year	620.78	22.69	1095.2	11717	2800.6	48929	14321	7004.2	82364	0.81	0.33	0.6
LSD (0.05)	154.9	3.313558 3.3	76.22451 76.2	3884.516 3884.5	518.5834 518.6	4795.523 4795.5	4367.131 4367.1	803.3215 803.3	6137.675 6137.7	0.029271 0.03	0.029919 0.03	0.019587 0.019
نسبت‌های کشت Cropping ratios												
مخلوط تک ردیفی 1 row intercrop.	729.77	40.89	1292.89	6487	3634.5	43096	7880	7944.3	67897	0.81	0.46	0.63
مخلوط دو ردیفی 2 rows intercrop.	826.09	7.40	1238.2	7343	658.1	41274	8569	3679.2	65346	0.85	0.18	0.63
مخلوط سه ردیفی 3 rows intercrop.	713.07	9.31	1146.84	9508	620.9	38228	11433	3675.5	61362	0.82	0.17	0.62
کشت خالص Pure culture	946.12	34.53	796.21	37845	6906.4	79621	44813	14569.3	139429	0.84	0.47	0.57
LSD (0.05)	134.9	4.3	118.6	3450.1	662.7	5864.5	3842.8	1010.2	6948.8	0.02	0.039	0.02

در کشـــت مخلوط خیار و بادمجان نیز برتری عملکرد خیار در کشت خالص در مقایسه با تیمارهای مخلوط گزارش شده است (Ali Ahmadi et al., 2003). در مقابل، در کشـــت مخلوط خیار با پیاز و سیر، عملکرد خیار در کشت مخلوط با سیر یا پیاز بیشتر از عملکرد این گیاه در کشت خالص گزارش شده است (Zhou et al., 2011).

در بررسی شاخص برداشت خیار مشاهده شد که بیشترین شاخص برداشت خیار (۰/۸۵) از کشت مخلوط دو ردیفی این گیاه با لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی به‌دست آمد، شاخص برداشت خیار در کشت مخلوط سه ردیفی (۰/۸۲) و کشت خالص (۰/۸۴) نیز بدون اختلاف معنی‌دار در رده بعدی قرار داشـــت، این در حالی بود که کمترین مقدار این شـــاخص (۰/۸۱) در کشـــت مخلوط تک ردیفی خیار، لوبیا ســـبز و گوجه‌فرنگی به‌دست آمد (جدول ۳). در کشـت مخلوط ذرت و سـویا، برتری شاخص برداشت ذرت در کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی و در مقابل برتری شاخص برداشت سویا در کشت خالص در مقایسه با کشت مخلوط گزارش شده است (Piri et al., 2017).

در رابطه با صفات مرتبط با عملکرد در لوبیا سبز، سال به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی نداشت. در مقابل وزن نیام در بوته، عملکرد اقتصادی و بیولوژیک و شاخص برداشت لوبیا سبز تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت و اثر متقابل سال و نسبت‌های مختلف کاشت قرار گرفتند (جدول ۲).

بر اســـاس نتایج حاصـــل از مقایســـه میانگین، به‌غیر از عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز، در سایر صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری بین دو ســـال اجرای آزمایش مشـــاهده نشـــد، با این حال وزن نیام در بوته، عملکرد اقتصـــادی و همچنین عملکرد بیولوژیک لوبیا ســـبز در سال اول آزمایش بیشتر از سال دوم بود، این در حالی بود که شاخص برداشت در سال دوم آزمایش بر سال اول ارجحیت داشت (جدول ۳).

در بررسی تأثیر نسبت‌های کشت بر صفات مرتبط با عملکرد لوبیا ســبز نیز مشــاهده شــد که بیشـــترین وزن نیام در هر بوته لوبیا ســبز (۴۰/۸۹ گرم در بوته) از کشت مخلوط تک ردیفی لوبیا سبز با خیار و گوجه‌فرنگی به‌دست آمد. این در حالی بود که کمترین وزن نیام در هر بوته لوبیا سبز (۷/۴۰ گرم در بوته) از کشت مخلوط دو ردیفی این گیاه به‌دســـت آمد که با کشـــت مخلوط ســـه ردیفی این گیاه با خیار و گوجه‌فرنگی در یک ســـطح آماری قرار داشـــت (جدول ۳). احتمالاً شــرایط مناســب گونه‌ها در کنار هم در کشــت مخلوط تک ردیفی و تشـکیل کانوپی موجی شـکل و نفوذ بیشـتر نور و در نتیجه اسـتفاده کارآمدتر از منابع دلیل برتری این نسبت در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش با شد (Namdari et al., 2010). در نسبت ۷۵٪ جو و ۲۵٪ باقلا نیز افزایش ۱۷ در صدی عملکرد بوته باقلا در مقایسه با کشت خالص این گیاه گزارش شده است (Eslami Khalili et al., 2011).

بیشترین عملکرد اقتصادی و بیولوژیک لوبیا سبز مربوط به کشت خالص این گیاه بود، در مقابل کمترین عملکرد اقتصـــادی و عملکرد بیولوژیک این گیاه از کشـت مخلوط سـه ردیفی لوبیا سـبز و دو گیاه دیگر به‌دســـت آمد که تفاوت معنی‌داری با کشـــت مخلوط دو ردیفی نداشت (جدول ۳). در کشت مخلوط لوبیا و ریحان بذری نیز بیشترین عملکرد لوبیا از کشت خالص این گیاه گزارش شده است (Alizadeh et al., 2009). در کشت مخلوط باقلا و گندم نیز برتری عملکرد باقلا در کشـــت خالص در مقایســـه با کشـت مخلوط گزارش شـده اسـت (Agegnehu et al., 2008). بالاترین شاخص برداشت لوبیا سبز نیز در کشت خالص این گیاه ثبت شد که با کشت مخلوط تک ردیفی این گیاه با خیار و گوجه‌فرنگی اختلاف معنی‌داری نداشـــت. در میان نسبت‌های کشت، کمترین شاخص برداشت لوبیا سبز از کشت مخلوط سه ردیفی به‌دست آمد که با کشت مخلوط دو ردیفی لوبیا سبز، خیار و گوجه‌فرنگی در یک سطح آماری قرار گرفت (جدول ۳).

وزن میوه در بوته، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گوجه‌فرنگی تحت تأثیر سال‌های اجرای آزمایش قرار نگرفت. این در حالی بود که این صفات تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های کاشت بودند. اثر متقابل سال و نسبت‌های کاشت نیز بر هیچ‌کدام از صفات مرتبط با عملکرد معنی‌دار نبود (جدول ۲).

بررســی مقایســه میانگین صــفات مرتبط با عملکرد گوجه‌فرنگی بیانگر این بود که وزن میوه در بوته، عملکرد اقتصـــادی و بیولوژیک گوجه‌فرنگی در سال اول و دوم آزمایش تفاوت معنی‌داری نداشت، امّا با این حال بیشترین مقدار این صفات مربوط به سال اول آزمایش بود. این در حالی بود که شاخص برداشت گوجه‌فرنگی در سال اول آزمایش به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال دوم آزمایش بود (جدول ۳).

کشـــت مخلوط تک ردیفی گوجه‌فرنگی، لوبیا ســـبز و خیار باعث تولید بیشـــترین وزن میوه گوجه‌فرنگی در هر بوته (۱۲۹۲/۸۹ گرم در بوته) شــد که با کشـــت مخلوط دو ردیفی این گیاهان در یک ســـطح آماری قرار داشـــت. در مقابل، کمترین وزن میوه گوجه‌فرنگی در هر

بوته (۷۹۶/۲۱ گرم در بوته) از کشت خالص این گیاه به‌دست آمد (جدول ۳).

بیشترین عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گوجه‌فرنگی مربوط به کشت خالص این گیاه بود. مشابه با گیاه خیار، بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گوجه‌فرنگی مشاهده نشد، امّا با این حال بیشترین عملکرد اقتصادی و بیولوژیک این گیاه در بین تیمارهای کشت مخلوط به کشت مخلوط تک ردیفی این گیاه با لوبیا سبز و خیار تعلق داشت (جدول ۳). در کشت مخلوط لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی، کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی در بوته و در واحد سطح در حضور لوبیا سبز گزارش شده است (Henareh et al., 2010).

بالاترین شاخص برداشت گوجه‌فرنگی (۰/۶۳) از کشت مخلوط تک ردیفی و دو ردیفی این گیاه با خیار و لوبیا سبز به‌دست آمد که با کشت مخلوط سه ردیفی در یک سطح آماری قرار داشتند، این در حالی بود که کمترین شاخص برداشت گوجه‌فرنگی (۰/۵۷) در کشت خالص این گیاه به ثبت رسید (جدول ۳).

کارایی مصرف عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده این بود که کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در هر سه گیاه تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های کاشت قرار گرفت. اثر سال تنها کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه خیار را تحت تأثیر معنی‌دار خود قرار داد. این در حالی بود که بر اساس نتایج به‌دست آمده، اثر متقابل سال در نسبت‌های کاشت فقط کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم لوبیا سبز را تحت تأثیر معنی‌دار قرار داد (جدول ۴).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم خیار در سال اول آزمایش بیشتر از سال دوم بود (جدول ۵). کشت خالص خیار در مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم کارآمدتر از کشت مخلوط عمل کرد، هر چند از لحاظ آماری تفاوتی بین کشت خالص این گیاه با کشت مخلوط دو ردیفی از نظر کارایی مصرف عناصر غذایی مشاهده نشد (جدول ۵). در کشت مخلوط یولاف و نخود فرنگی بیشترین کارایی مصرف نیتروژن هر یک از گیاهان در کشت خالص آن‌ها گزارش شده است و با کاهش سهم هر گونه در مخلوط، کارایی مصرف نیتروژن آن گونه در مخلوط کاهش یافت (Neugschwandtner & Kaul, 2015). در کشت مخلوط ذرت و پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) نیز کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (عملکرد تولید شده به نیتروژن موجود در خاک) در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص هر دو گیاه گزارش شده است (Koocheki et al., 2015). در کشت مخلوط گندم و کلزا (*Brassica napus* L.) نیز گزارش شده است که کارایی مصرف نیتروژن و فسفر در کشت خالص بیشتر از تیمارهای مخلوط بود (Koocheki et al., 2017).

کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کشت مخلوط تک ردیفی لوبیا سبز با دو گیاه خیار و گوجه‌فرنگی بر سایر تیمارهای آزمایش ارجحیت داشت. کشت مخلوط دو ردیفی این گیاهان از نظر کارایی مصرف عناصر غذایی در پایین‌ترین سطح قرار داشت، با این حال، با کشت مخلوط سه ردیفی در یک سطح آماری قرار داشت (جدول ۵). در خصوص گوجه‌فرنگی نیز بیشترین کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کشت مخلوط تک ردیفی این گیاه با دو گیاه دیگر مشاهده گردید، هر چند از نظر آماری با کشت مخلوط دو ردیفی در یک سطح قرار داشت (جدول ۵). این در حالی بود که عملکرد لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی در کشت خالص به‌صورت معنی‌داری بیشتر از عملکرد این گیاهان در نسبت‌های مخلوط بود (جدول ۳). با توجه به این که کارایی مصرف عناصر غذایی حاصل ضرب کارایی فیزیولوژیک (نسبت عملکرد به عنصر غذایی جذب شده) و کارایی جذب (نسبت عنصر غذایی جذب شده به عنصر غذایی موجود در خاک) عناصر است، از این رو، می‌توان این‌گونه استنباط کرد که افزایش کارایی مصرف عناصر به‌واسطه افزایش در کارایی جذب عناصر اتفاق می‌افتد (Pahlevanloo et al., 2016; Koocheki et al., 2017). از این رو، احتمالاً در کشت مخلوط تک ردیفی خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی، قابلیت استفاده یا جذب بیشتر عناصر غذایی در نتیجه رقابت بین گونه ها افزایش یافته است (Chapagain & Riseman, 2014). در کشت مخلوط ارزن و خلر نیز افزایش جذب فسفر و پتاسیم در نسبت ۷۵ درصد ارزن به همراه ۲۵ درصد خلر در مقایسه با کشت خالص و سایر نسبت‌های کشت مخلوط گزارش شده است (Pakgohar & Ghanbari, 2014). در کشت مخلوط گندم و ذرت نیز برتری کارایی مصرف نیتروژن در تیمار های مخلوط در مقایسه با کشت خالص هر دو گیاه گزارش شده است (Koocheki et al., 2012). در کشت مخلوط ذرت و گندم، کارایی فیزیولوژیک مصرف نیتروژن در تک‌کشتی گندم بیشتر از کشت مخلوط آن و در تک‌کشتی ذرت کمتر از کشت مخلوط آن گزارش شده است (Gao et al., 2014).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی در نسبت‌های مختلف کشت در دو سال

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for nitrogen, phosphor and potassium use efficiency in cucumber, green bean and tomato in cropping ratios in two years

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency			کارایی مصرف فسفر Phosphor use efficiency			کارایی مصرف پتاسیم Potassium use efficiency		
		خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato
سال Year	1	50775*	0.0013$^{n.s.}$	548.716$^{n.s.}$	1526.1477*	2.002$^{n.s.}$	4116.099$^{n.s.}$	895.6107*	0.2537$^{n.s.}$	221.261$^{n.s.}$
خطای سال Year error	4	1334.1492	15.7196	2094.128	2344.3187	27.25	3618.495	18.8333	0.2098	27.575
نسبت‌های کشت Cropping ratios	3	4933.089*	3180.093**	135078**	8642.268*	5557.717**	235600**	68.7566*	43.8854*	1848.839**
سال×نسبت کشت Year×Cropping ratios	3	342.1594$^{n.s.}$	111.676*	3196.079$^{n.s.}$	621.939$^{n.s.}$	197.21*	5204.006$^{n.s.}$	5.5397$^{n.s.}$	1.6334*	32.836$^{n.s.}$
خطا Error	12	820.1509	21.457	4031.169	1440.1106	37.377	7017.645	11.5441	0.2923	54.771
ضریب تغییرات C.V. (%)		13.32	14.98	8.46	13.33	14.96	8.44	13.38	14.89	8.39

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و n.s: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری

* and **: are significant at 5 and 1 probability levels, respectively, and n.s: is not significant.

جدول ۵- کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نسبت‌های مختلف کشت در دو سال

Table 5- Nitrogen, phosphor and potassium use efficiency of cucumber, green bean and tomato in plant and in hectare in cropping ratios in two years

فاکتورهای آزمایش Experiment factors	کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency			کارایی مصرف فسفر P use efficiency			کارایی مصرف پتاسیم K use efficiency		
	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato
سال Year									
سال اول First year	261.06	30.92	755.27	347.42	41.15	1005.11	31.51	3.73	91.15
سال دوم Second year	169.07	30.9	745.71	221.94	40.57	978.92	19.29	3.53	85.08
LSD (0.05)	5.9	0.5	4.9	68.02	5.9	54.8	51.7	4.48	41.31
نسبت‌های کشت Cropping ratios									
مخلوط تک ردیفی 1 row intercropping	195.29	54.93	867.96	258.5	75.57	1147	23.06	6.43	101.80
مخلوط دو ردیفی 2 rows intercropping	221.14	9.98	830.79	292.66	13.16	1098.17	26.09	1.16	97.55
مخلوط سه ردیفی 3 rows intercropping	190.73	12.48	769.36	252.52	16.51	1017.04	22.54	1.47	90.36
کشت خالص Pure culture	253.1	46.26	533.85	335.05	61.19	705.86	29.89	5.45	62.76
LSD (0.05)	9.3	0.68	4.27	105.39	7.69	47.74	79.88	5.83	36.03

نسبت برابری زمین

عملکرد نسبی یا نسبت برابری زمین جزیی هر یک از گیاهان و نسبت برابری زمین کل تحت تأثیر اثر سال قرار نگرفت. این در حالی بود که به غیر از نسبت برابری زمین جزئی گوجه‌فرنگی، نسبت برابری زمین جزیی خیار و لوبیا سبز و نسبت برابری زمین کل تحت تأثیر نسبت‌های کاشت قرار گرفت (جدول ۶). نسبت برابری زمین در کشت مخلوط تک ردیفی بالاتر از یک بود و بیانگر این بود که کشت مخلوط تک ردیفی حدود ۲۷ درصد عملکرد کل را نسبت به تک‌کشتی افزایش داده است (جدول ۶). نسبت برابری زمین بالاتر از یک نشان‌دهنده کارایی کشت مخلوط در جهت استفاده از منابع در مقایسه با کشت خالص است (Lithourgidis et al., 2011).

جدول ٦- نسبت برابری زمین خیار، لوبیا سبز، گوجه‌فرنگی و کل در نسبت‌های مختلف کشت در دو سال

Table 6- Land equivalent ratio of cucumber, green bean, tomato and total in cropping ratios in two years

فاکتورهای آزمایش Experiment factors	نسبت برابری زمین Land equivalent ratio			
	خیار Cucumber	لوبیا سبز Green bean	گوجه‌فرنگی Tomato	کل Total
سال Year				
سال اول First year	0.206	0.198	0.489	0.893
سال دوم Second year	0.211	0.297	0.546	1.054
نسبت‌های کشت Cropping ratios				
کشت مخلوط تک ردیفی 1 row intercropping	0.173	0.551	0.55	1.274
کشت مخلوط دو ردیفی 2 rows intercropping	0.2	0.101	0.521	0.823
کشت مخلوط سه ردیفی 3 rows intercropping	0.251	0.091	0.482	0.824
سطح معنی‌داری Significant level				
سال Year	ns	ns	ns	ns
نسبت‌های کشت Cropping ratios	*	*	ns	*
سال × نسبت‌های کشت مخلوط Year × Cropping ratios	ns	ns	ns	ns
ضریب تغییرات C.V. (%)	13.63	29.84	9.13	10.17

*: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و ns: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری.

*: is significant at 5 percent probability levels, respectively, and ns: is not significant.

برتری کارایی مصرف عناصر در کشت مخلوط تک ردیفی در مقایسه با سایر نسبت‌های کاشت نیز نشان‌دهنده برتری این نسبت در مقایسه با کشت خالص و سایر تیمارهای کشت مخلوط است (جدول ۵). در کشت مخلوط تک ردیفی نقش LER جزیی لوبیا سبز در مقایسه با دو گیاه دیگر پر رنگ‌تر است، این در حالی است که در کشت مخلوط دو و سه ردیفی، LER جزئی گوجه‌فرنگی بر دو گیاه دیگر برتری داشت (جدول ۶). در کشت مخلوط لوبیا سبز و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)، نسبت برابری زمین برای

تمامی ترکیبات تیماری کشت مخلوط بالاتر از یک گزارش شده است و بیان شده که با افزایش تراکم سیب‌زمینی، از نسبت برابری زمین کاشته شده است (Raei et al., 2011). در کشت مخلوط خیار و پیاز (*Allium cepa*) نیز LER تمامی تیمارهای کشت مخلوط، بالاتر از یک گزارش شده است (Bolandnazar et al., 2011). در کشت مخلوط لوبیا و گوجه‌فرنگی نیز LER بالاتر از یک در تمامی نسبت‌های کشت مخلوط گزارش شده است (Abd El-Gaid et al., 2014). در مقابل، در کشت مخلوط گوجه‌فرنگی و لوبیا سبز، نسبت برابری زمین در تمامی تیمارهای کشت مخلوط کمتر از یک گزارش شده است (Henareh et al., 2010).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، نسبت برابری زمین در کشت مخلوط تک ردیفی خیار، لوبیا سبز و گوجه‌فرنگی بالاتر از یک بود که به بیانگر برتری این تیمار در مقایسه با کاشت خالص بود. علاوه‌بر این، نتایج حاصل از بررسی کارایی مصرف عناصر غذایی مؤید این بود که در کشت مخلوط تک ردیفی این گیاهان در مقایسه با کشت خالص هر یک از آن‌ها، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به صورت کارآمدتری مورد استفاده قرار گرفته است. با این حال، به نظر می‌رسد نتیجه‌گیری نهایی در خصوص برتری این سیستم در مقایسه با تک‌کشتی، بررسی‌های بیشتری را می‌طلبد.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهه شماره ۲/۳۸۳۸۴ مورخ ۱۳۹۴/۵/۲۷ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

Abd El-Gaid, M.A., Al-Dokeshy, M.H., and Nassef, D.M.T., 2014. Effects of intercropping system of tomato and common bean on growth, yield components and land equivalent ratio in New Valley Governorate. Asian Journal of Crop Science 6(3): 254-261.

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W., 2008. Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. Agronomy for Sustainable Development 28: 257-263.

Ali Ahmadi, H., Rostami, H., and Dawtalab, N., 2003. Determination of the best planting method and density for mixed culture of cucumber and eggplant in Zabol. Seed and Plant Improvement Journal 19(1): 117-120. (In Persian with English Summary)

Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2009. Evaluation of yield, yield components and potential of weed control of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and seed sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) in intercropping condition. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 541-553. (In Persian with English Summary)

Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2010a. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phasaelous vulgaris* L.) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2(1): 85-94. (In Persian with English Summary)

Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2010b. Investigation of growth characteristic, yield, yield components and potential weed control in intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and vegetative sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2(3): 383-397. (In Persian with English Summary)

Bolandnazar, S., Pazani, Z., and Mohammadi, J., 2011. The study of cucumber and onion intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 21(3): 135-145. (In Persian with English Summary)

Chapagain, T., and Riseman, A., 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. Field Crop Research 166: 18-25.

Chen, P., Du, Q., Liu, X., Zhou, L., Hussain, S., Lei, L., Song, C., Wang, X., Liu, W., Yang, F., Shu, K., Liu, J., Du, J., Yang, W., and Yong, T., 2017. Effects of reduced nitrogen inputs on crop yield and nitrogen use efficiency in a long-term maize-soybean relay strip intercropping system. PLoS ONE 12(9): 1-19.

Daneshnia, F., Amini, A., and Chaichi, M.R., 2015. Surfactant effect on forage yield and water use efficiency for berseem clover and basil in intercropping and limited irrigation treatments. Agricultural Water Management 160: 57-63.

Eslami Khalili, F., Pirdashti, H., and Motaghian, A., 2011. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) yield in different density and mixture intercropping via competition indices. Journal of Agroecology 3(1): 94-105. (In Persian with English Summary)

Fujita, K., Ofosubudu, K.G., and Ogata, S., 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems. Plant Soil 141: 155-175.

Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Liu, Z., Liu, H., and Liu, Z., 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crop Research 111: 65-73.

Gao, Y., Wu, P., Zhao, X. and Wang, Z., 2014. Growth, yield, and nitrogen use in the wheat/maize intercropping system in an arid region of northwestern China. Field Crop Research 167: 19-30.

Henareh, M., Jodae, A., Hasanim G.H., and Anvieh, L., 2010. Study on yield and profitability of tomato at intercropping with snap bean. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi): 79-86. (In Persian with English Summary)

Kermah, M., Franke, A.C., Adjei-Nsiah, S., Ahiabor, B.D.K., Abaidoo, R.C. and Giller, K.E., 2017. Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. Field Crop Research 213: 38-50.

Koocheki, A., Boroumand Rezazadeh, Z., Nassiri Mahallati, M., and Khorramdel, S., 2012. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 10(2): 327-334. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S., Anvarkhah, S., Sabet Teymouri, M., and Sanjani, S., 2010. Study of growth indices in substitution and additive intercropping of Cannabis (*Cannabiis sativa* L.) and Sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agrocecology 2(1): 27-36. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Alizadeh, Y., 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. Iranian Journal of Field Crop Research 13(1): 1-13. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S., 2009a. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. Journal of Agroecology 1(1): 13-23. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Lalegani, B., and Najibnia, S., 2009b. Evaluation of production in intercropping of bean and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 605-614. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nourbakhsh, F., and Cheshmi, M., 2017. Assessment of yield and use efficiency of nitrogen and phosphorus in row intercropping of wheat and canola. Iranian Journal of Field Crop Research 15(3): 559-574. (In Persian with English Summary)

Latati, M., Aouiche, A., Tellah, S., Laribi, A., Benlahrech, S., Kaci, G., Ouarem, F. and Mohamed Ounane, S., 2017. Intercropping maize and common bean enhances microbial carbon and nitrogen availability in low phosphorus soil under Mediterranean conditions. European Journal of Soil Biology 80: 9-18.

Li, L., Sun, J.H., Zhang, F.S., Li, X.L., Yang, S.C., and Rengel, Z., 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. I. Yield advantage and interspecific interaction on nutrients. Field Crops Research 71: 123-137.

Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A, and Damalas, C.A., 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. European Journal of Agronomy 34: 287-294.

Liu, X., Rahman, T., Yang, F., Song, C., Yong, T., Liu, J., Zhang, C., and Yang, W., 2017. PAR interception and utilization in different maize and soybean intercropping patterns. PLoS One 12(1): 1-17.

Madhulika, P., Thakar, S., and Sompal, S., 2015. Effect of row orientation and intercropping on dry matter accumulation and growth parameters of bed planted wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agriculture Sciences 7(11): 757-761.

Mirhashemi, S.M., Koocheki, A., Parsa, M., and Nassiri Mahallati, M., 2009. Evaluation of growth indices of ajowan and fenugreek in pure culture and intercropping based on organic agriculture. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 685- 694. (In Persian with English Summary)

Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G., and Samiezadeh, H.A., 2015. Role of triple intercropping system in weeds control and naked-pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) yield. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24(4): 17-31. (In Persian with English Summary)

Morgado, L.B., and Willey, R.W., 2003. Effects of plant population and nitrogen fertilizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. Pesquisa Agropecuaria Brasileria 38(11): 1257-1264.

Namdari, M., Behdani, M.A., and Arab, G., 2010. Evaluation of physiological and morphological characteristics and yield of soybean (*Glycine max* L.) cultivars under different intercropping planting ratios. Journal of Agroecology 2(2): 313-322. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M., 2011. Radiation absorption and use efficiency in relay intercropping and double cropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 8(6): 878-890. (In Persian with English Summary)

Neugschwandtner, R.W., and Kaul, H.P., 2015. Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat-pea intercropping. Field Crop Research 179: 113-119.

Ofosu-Anim, J., and Limbani, N.V., 2007. Effect of intercropping on the growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). International Journal of Agriculture and Biology 9(4): 594-597.

Pahlevanloo, P., Rahimizadeh, M., and Tookalloo, M.R., 2016. Evaluation of nitrogen use efficiency in intercropping of maize and soybean. Journal of Agricultural Crop Management 17(4): 967-978. (In Persian with English Summary)

Pakgohar, N., and Ghanbari, A., 2014. Evaluation of competition and nutrient consumption of Nutrifid millet and green pea in intercropping. Journal of Agricultural Crop Management 15(4): 135-150. (In Persian with English Summary)

Piri, I., Zendehdel, B., and Tavassoli, A., 2017. Study of agronomical and ecological parameters of additive and replacement intercropping systems of corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). Journal of Agroeocology 9(3): 705-721. (In Persian with English Summary)

Pitan, O.O.R., and Esan, E.O., 2014. Intercropping cucumber with amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) to suppress populations of major insect pests of cucumber (*Cucumis saivus* L.). Phytopathology and Plant Protection 47(9): 1112-1119.

Raei, Y., Bolandnazar, S.A., and Dameghsi, N., 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. Agricultural Sciences and Sustainable Production 21(2): 131-142. (In Persian with English Summary)

Ranjbar, A., Shahriari, D., and Rafezi, R., 2008. An evaluation on the resistance of the germplasm of cucumber against downy mildew of Cucurbitaceae (*Pseudoperonospora cubensis*). Journal of Plant Protection 22(2): 71-83. (In Persian with English Summary)

Szumigalski, A.R., and Van Acker, R.C., 2006. Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops. Agronomy Journal 98: 1030-1040.

Thuennissen, J., 1997. Intercropping in field vegetables as an approach to sustainable horticulture. Outlook Agriculture 26(2): 95-99.

Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O., 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions, I. Model development. Field Crop Research 93: 10-22.

Wang, Z., Jin, X., Bao, X., Li, X., Zhao, J., Sun, J., Christie, P., and Li, L., 2014. Intercropping enhances productivity and maintains the most soil fertility properties relative to sole cropping. PLoS ONE 9(12): 1-24.

Yildirim, E., and Guvenc, I., 2005. Intercropping based on cauliflower: more productive, profitable and highly sustainable. European Journal of Agronomy 22: 11-18.

Zeinali, N., Kashi, A., and Fathi Moghadam, M.R., 2010. A study of the effects of planting density and pattern on cucumber yield and yield components in its intercropping with celery. Iranian Journal of Horticultural Science 41(1): 55-61. (In Persian with English Summary)

Zhang, J., Li, Z.H., Li, K., Huang, W., and Sang, L.H., 2012. Nitrogen use efficiency under different field treatments on maize fields in Central China: A lysimeter and ^{15}N study. Journal of Water Resource and Protection 4: 590-596.

Zhou, X., Yu, G., and Wu, F., 2011. Effects of intercropping with onion or garlic on soil enzyme activities, microbial communities and cucumber yield. European Journal of Soil Biology 47: 279-287.